

自控液晶光阀组式光刻快门研究*

陈 贇

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘 要 通过理论推导, 构建了抗蚀剂的感光特性、光源的光效与曝光量之间的数学模型, 为液晶光阀代替穿孔带提供了理论依据. 结合液晶光阀的工作原理和光刻快门的控制原理, 对液晶光阀组的控制进行了研究并给出了其控制电路图. 通过实际光刻试验, 自控液晶光阀组光刻快门机构可以完成编码图案的控制, 通光控制达到了预计要求, 刻出的图案清晰, 线条陡直. 证明液晶光阀组替代穿孔带用作光刻快门是完全可行的.

关键词 液晶光阀组; 光刻快门; 感光特性; 光效; 曝光量; 控制电路

中图分类号 TN141.9 **文献标识码** A

0 引言

码盘作为光电轴角编码器中的核心元件广泛用于自动控制领域^[1~6]. 码盘的码型由各种不同的机构控制形成的, 这种机构是一组比较复杂的快门, 也是研制码盘的重要部件. 目前, 国内对曝光的控制多是采用穿孔带装置进行控制的, 这种结构较国外虽然相对简单^[7], 但在转动过程中易于卡住, 造成编码穿孔带损坏, 最终将导致刻划失败. 而打制编码穿孔带既费时又易出错码, 重复利用率极低. 另外编码穿孔带的装调也比较麻烦, 若装调不正确, 将会产生漏光或串光, 导致码盘图案发生畸变. 为了解决上述问题, 本文提出利用液晶光阀组作光刻快门, 以替代传统的穿孔带装置. 实际光刻试验证明, 用液晶光阀组代替穿孔带作为光刻快门是完全可行的.

1 曝光量、感光度、光效三者间的数学模型

穿孔带式曝光控制装置见图 1. 码盘、计量光栅

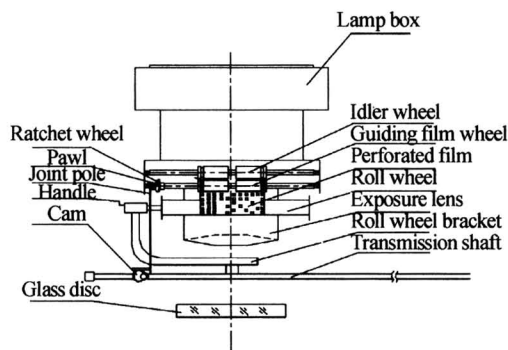


图 1 穿孔带式曝光控制装置

Fig. 1 Scheme of exposure device controlled by perforated film

的刻制工艺通常为清洗毛坯、涂胶、曝光、显影、定影、烘干或清洗毛坯、镀铬、涂胶、曝光、腐蚀、去铬等^[8], 所以要提高码盘、计量光栅的线条质量, 必须严格控制上述工艺操作规程, 而对曝光量的控制是上述工艺中更为重要的一道工序. 在胶膜厚度一定的情况下曝光量的大小和抗蚀剂的感光度、光源的光效都有关, 通过三者之间的关系可以建立它们之间的数学模型.

曝光量 H_v 为物体表面某一点面元接收的光照度 E_v 在时间 t 内的积分, 即

$$H_v = \int_0^t E_v dt \quad (1)$$

若每次曝光的时间恒定, 式(1)可变为

$$H_v = E_v t \quad (2)$$

光照度 E_v 是照射到物体表面某一面元的光通量 $d\Phi_v$ 与该面元面积 dA 的比值, 即

$$E_v = d\Phi_v / dA \quad (3)$$

若光通量是均匀地照射在物体表面, 式(3)可简化为

$$E_v = \Phi_v / A \quad (4)$$

通常, 用感光灵敏度即感光度来表示抗蚀剂的感光特性, 它表示感光高分子完成基本光化学反应所需要的最低曝光能量. 其计算公式为

$$S = K / H_v \quad (5)$$

式中 S 为某型号抗蚀剂的感光度, K 为常量.

另外, 反差系数也是抗蚀剂特性的一个重要参量, 它与和感光度 S 的关系式为

$$\Gamma = (D_2 - D_1) / (S_1 - S_2) \quad (6)$$

式中 D_2 、 D_1 分别为抗蚀剂感光度 S_2 、 S_1 所对应的密度值. 由式(5)、(6)既可得出反差系数和曝光量之间的关系.

通常用色温 T_f 和光效 η_v 表示曝光系统中光源的特性, 光效即发光效率, 它表示光源发射的总光通量 Φ_v 与提供的功率 P 之比

$$\eta_v = \Phi_v / P \quad (7)$$

由式(2)、(4)、(7)可得出曝光量和光效之间的关系式为

* 中国科学院长春光机与物理所第三届青年创新基金(No. Q03G04Z)资助项目
Tel: 0431-6176079 Email: tutorye@163.com
收稿日期: 2005-02-22

$$H_v = \eta_v Pt / A \tag{8}$$

由式(5)、(8)可以得出感光度和光效之间的关系式为

$$S = KA / \eta_v Pt \tag{9}$$

而对某一型号的抗蚀剂和光源来说,感光度、光效和功率都由厂家给出,可以看作已知量,所以,通过计算控制曝光时间便可从理论上推出该抗蚀剂是否能感光。

2 液晶光阀的控制原理

液晶光阀具有旋光性,它可由扭曲向列效应(Twisted Nematic Field Effect)说明^[9~11]。在扭曲效应中,液晶分子的长轴平行于基片两个电极,表面液晶分子取向互成90°,如图2(a)。采用正性向列液晶,外加电压超过阈值电压时,会使液晶分子不再扭曲,而变成与电场方向一致的排列,如图2(b)。扭曲效应的阈值电压为

$$U_{\phi} = \frac{K_{11}\pi^2 + (K_{33} - 2K_{22})\Phi_0^2}{\epsilon_0 \Delta\epsilon} \tag{10}$$

式中 K_{11} 为弯曲弹性常量; K_{22} 为扭曲弹性常量; K_{33} 为展面弹性常量; Φ_0 为上下玻璃基平行处理后的扭曲角, ϵ_0 为介电常量; $\Delta\epsilon$ 为介电各向异性参量。不加电场时(如图2(a)),入射光经过偏光片后通过液晶层,偏光被分子扭转排列的液晶层旋转90°,离开液晶层时,其偏光方向恰与另一偏光片的方向一致,因此光线能顺利通过,称为亮场;加入电场时(如图2(b)),每个液晶分子的光轴转向与电场方向一致,液晶层因此失去了旋光的能力,结果来自入射偏光片的偏光,其偏光方向与另一端偏光片的偏光方向呈垂直的关系,无法通过,电极面呈现黑暗的状态,此时为暗场。液晶上所加电压值不同,导致的液晶对光束所旋转的角度也不同,只有当液晶上所加电压超过其阈值电压时才能达到完全不旋光。本设计中正是利用液晶光阀的这种特性,在其上施加大于和小于其阈值电压的脉冲电压使入射光交替通过,从而起到快门的作用。

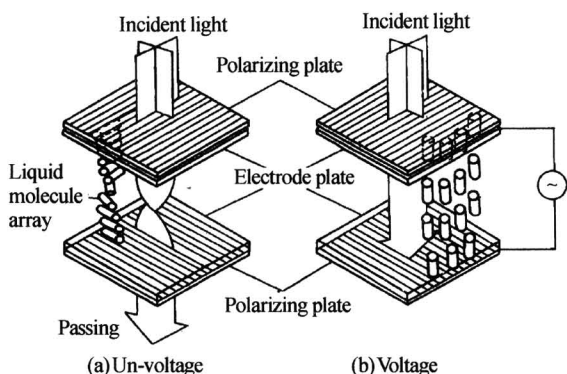


图2 液晶光阀的控制原理
Fig. 2 Control principle of liquid crystal light valve

3 液晶光阀组控制电路的设计

码盘图案是由黑白线条组成,其位数大小对应于圈数的多少。因此,单片液晶光阀无法代替穿孔带用于码盘的刻制中,必须由许多液晶光阀组成液晶光阀组方可替代穿孔带进行码盘刻制。根据目前所刻码盘的最高位数暂设定该液晶光阀组由二十个液晶光阀组成,即一行二十列(1×20)。单片机根据要显示的图案(数据量20位,每位的高或低表示亮或暗),分3次分别将对应于光阀亮暗的控制信息 Q_0, Q_1, \dots, Q_{19} 锁入 N_1, N_2 和 N_3 的输出端。由于单片机没有太多的输入输出管脚,所以必须进行扩展^[12]。 N_1, N_2, N_3 是用于扩展用的锁存器74LS573。首先置 P_{20} 为1、 P_{21} 为0、 P_{22} 为0,用MOVC指令将第一个8位数据锁存到 N_1 ;然后置 P_{20} 为0、 P_{21} 为1、 P_{22} 为0,用MOVC指令将第2个8位数据锁存到 N_2 ;然后置 P_{20} 为0、 P_{21} 为0、 P_{22} 为1,用MOVC指令将第3个4位数据锁存到 N_3 。锁存完这20个数据位,之后置 P_{20} 为0、 P_{21} 为0、 P_{22} 为0。同时启动CTL产生如图3的波形。详细流程图如图4。通过使能信号 EN_i 对每个液晶光阀上的脉冲电压进行控制,使其处于亮场或暗场,实现了对曝光的控制,从而起到快门的作用,总体电路原理图如图5。图5中的 N_5, N_6 和 N_7 分别包含了4片75451芯片、4片75451芯片和2片75451芯片,75451芯片用于接收 N_1, N_2 和 N_3 输出的 $Q_0 \sim Q_{19}$ 。75451芯片是与门模块,每个芯片中有2个二输入与门。为了使20个光阀的上电默认状态为暗场,75451的输出需要接一个下拉电阻。图5中的按键 k_1 用于控

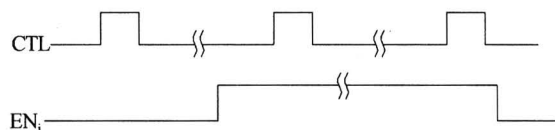


图3 亮暗控制时序图
Fig. 3 Schedule diagram of controlling light passing or impermeable

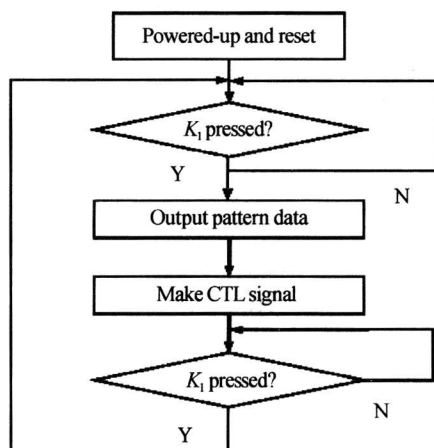


图4 程序主流程图
Fig. 4 Main flowchart of program

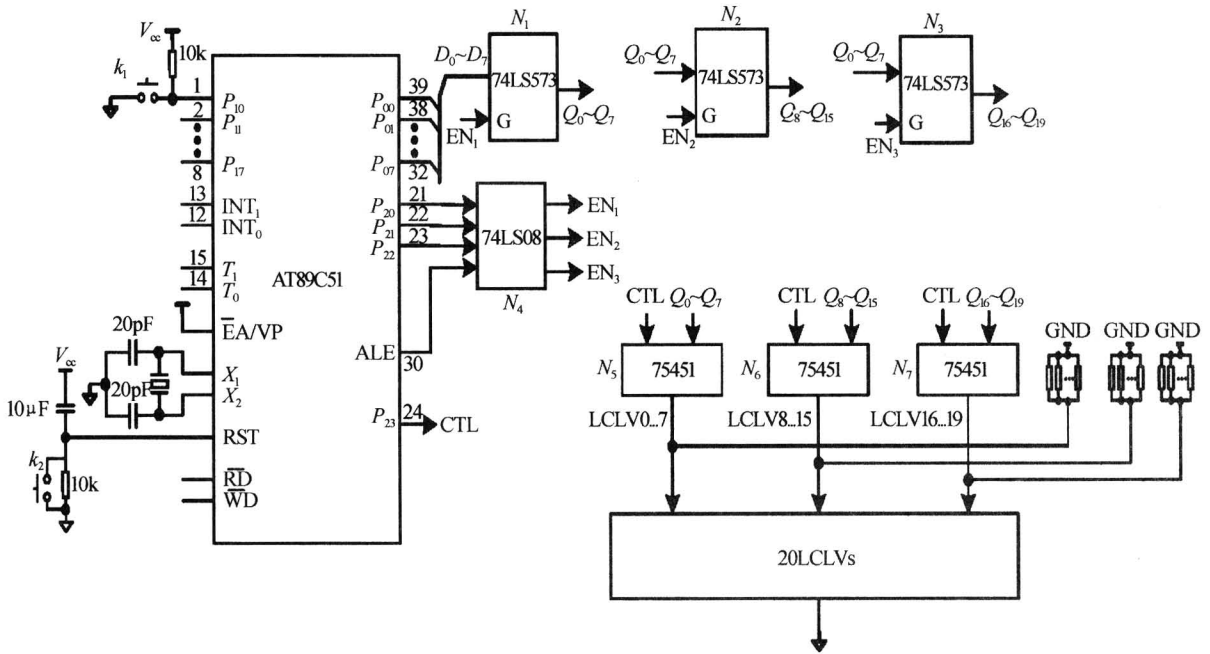


图 5 控制电路原理图
Fig. 5 Principle diagram of control circuit

制显示图像与否, K_2 用于系统复位.

4 实验与结果

在图 1 中, 穿孔带的运动是由导轨带动凸轮转动, 可使连杆上下运动, 从而带动连杆上的棘爪拨动棘轮, 使导片轮转过一个齿. 而用液晶光阀组替代穿孔带后, 这些传动机构都被取消, 液晶光阀组的亮或暗是将事先设计的码盘图案编制成受控脉冲电压信号, 利用微型计算机通过图 4 的程序流程图控制液晶光阀组上的各个单元的脉冲电压, 使其透光或不透光, 其结构如图 6. 为了使液晶光阀组的亮暗和闪光灯的频率同步, 必须对光刻机的分度进行计算, 求出每次分度间隔时间, 然后用分度间隔时间和闪光灯闪光时间共同组成图 3 中 CTL 周期, 从而完成对液晶光阀组的控制. 光刻机的分度间隔时间是由电机经过减速箱完成的, 通常采用 16 次/分, 即 3.75 s/次. 闪光灯采用高压脉冲氙灯 PSZ30X, 触发电压为 12 kV, 每次曝光时间为 0.2 ms. 考虑到液晶光阀的响应时间在常温下一般为数毫秒^[13], 远远大于闪光灯的闪光时间, 所以 CTL 的周期应为分度间隔时间、闪光灯闪光时间与液晶光阀响应时间之和. 刻划次数 n (即图 4 中循环的次数) 由扇形板上的线对数和总的刻线对数决定, 由以上数据便可以对微机进行编程从而完成对曝光的控制. 本实验中采用较灵敏的感光胶干版, 感光度为 0.2/lxs, 闪光灯功率为 1000 W, 光效为 40 lm/W, 刻划温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, K 取 1, 感光面积为 2.25 mm^2 , 由式 (9) 可得曝光时间 $t = 28.125 \mu\text{s}$, 远远小于闪光时间, 所以理论上该感光胶是完全可以感光的. 所刻码盘的刻线数为 4096 对线, 圈数为 7 圈. 因此只用到 7 个液晶光阀即可控制

曝光, 其余的通过程序使其一直处于暗场状态即可. 曝光次数为 1024 次, 曝光镜头的放大倍数为 $0.5 \times$, 每个液晶光阀的大小为 $3 \times 3 \text{ mm}$. 通过对液晶光阀组控制曝光进行了单元光刻试验, 结果证明该机构可以完成编码图案的控制, 透光控制达到了预计的要求, 刻出的图案清晰, 线条陡直, 如图 7.

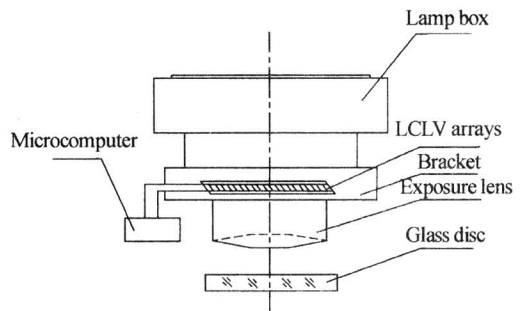


图 6 液晶光阀组式曝光装置
Fig. 6 Scheme of exposure device controlled by LCLV arrays



图 7 部分码盘图案
Fig. 7 Part of code disc pattern

5 结论

本文从物理原理及抗蚀剂的感光机理出发,导出了抗蚀剂的感光度、光源的光效和曝光量之间的数学模型.通过对光刻快门的控制原理进行分析,依据液晶光阀的工作原理,对它的控制电路进行了研究并给出了具体的设计方案.实验证明,液晶光阀替代穿孔带用于光刻快门是完全可行的,而且具有结构简单,装调方便,重复使用性好等优点.

参考文献

- 1 陈赞,张红胜,赵兴国.提高码盘、圆光栅均匀性的研究.计量技术,2004,(364):17~19
Chen Y, Zhang H S, Zhao X G. *Measurement Technique*, 2004, (364): 17~19
- 2 罗长洲,孙岩,胡晓东,等.码盘偏心对叠栅条纹信号相位的影响.光子学报,2003,32(10):1271~1273
Luo C Z, Sun Y, Hu X D, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003,32(10): 1271~1273
- 3 徐洲,胡晓东,罗长洲,等.增量式轴角编码器的电子细分及零位处理.光子学报,2002,31(12):1497~1500
Xu Z, Hu X D, Luo C Z, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2002,31(12):1497~1500
- 4 孔智勇,熊文卓,艾华,等.一种高精度绝对式光电轴角编码器的照明系统.光子学报,2003,32(1):30~33
Kong Z Y, Xiong W Z, Ai H, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003,32(1):30~33
- 5 罗长洲,孙岩,高立民,等.准绝对式光学编码器.光子

学报,2003,32(5):628~631

Luo C Z, Sun Y, Gao L M, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003,32(5):628~631

- 6 叶盛祥.光电位移精密测量技术.成都:四川科学技术出版社,2003.28~50
Ye S X. *Photoelectronics displacement precise measurement technique*. Chengdu: Sichuan Technology Press, 2003. 28~50
- 7 马宏.精密刻划工艺.北京:兵器工业出版社,1994.155~189
Ma H. *Precise photolithographic technics*. Beijing: Weapon Industry Press, 1994. 155~189
- 8 徐君华,莫玮.一种基于TN型液晶的自控光阀.光电工程,2003,30(4):59~61
Xu J H, Mo W. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, 30(4): 59~61
- 9 曹益平,苏显渝,刘明健,等.采用液晶光阀的氮氛激光准直控制.光电工程,2004,31(3):19~21
Cao Y P, Su X Y, Liu M J, *et al.* *Opto-Electronic Engineering*, 2004,31(3): 19~21
- 10 马宏,张家田.液晶显示器件应用技术.北京:机械工业出版社,2004.13~85
Ma H, Zhang J T. *Applied technique of liquid display*. Beijing: China Machine Press, 2004. 13~85
- 11 余华芳,刘建.单片机与液晶模块的软硬件接口技术.液晶与显示,2003,18(2):125~129
Yu H F, Liu J. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2003,18(2): 125~129
- 12 Jung-Chih Chiao, Chorum Technologies. Liquid-Crystal WDM signal processors. *SPIE*, 2001,4532:54~61

Auto-controlled Liquid Crystal Light Valve Arrays as Photolithography Shutter

Chen Yun

Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130022

Received date: 2005-02-22

Abstract In order to obtain patterns of code disc and metrology grating which are the core components of optical shaft encoder, photolithography shutter is usually used to control exposure. But perforated film as photolithography shutter has many disadvantages such as taking too long time to perforate, easily making wrong code. A mathematical model between resist property, luminous efficiency and exposure has been established by deducing their relations for avoiding the disadvantages. The theory of using liquid crystal light valve replacing perforated film is proposed. Based on operating principles of liquid crystal light valve and control theories of photolithography shutter, the control circuit of liquid crystal light valve arrays has been designed according to their control principles. The photolithographic experiments show that, the patterns of code disc are good, the edges of lines are vertical. It indicates that the liquid crystal light valve arrays as photolithography shutter can control exposure and light passing accords with the intending requires. It proves that using liquid crystal light valve arrays replacing perforated film as photolithography shutter is feasible completely.

Keywords Liquid crystal light valve arrays; Photolithography shutter; Sensitive property; Luminous efficiency; Light exposure; Control circuit



Chen Yun was born on February 18, 1976, in Shandong, China, and received his B. S. and M. S. degree in Mechatronics from Changchun institute of optics and fine Mechanics in 1999 and in 2002. Now he is reading for Dr. degree from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. His researches focus on photolithography and photoelectric detecting.